

10. Womack, J. Removal of refractory organics from water by aeration. II. Solvent sublation of methylene blue and methyl orange [Текст] / J.Womack, J.Lichter, D.Wilson // Ibid. - 17, N 7.- P. 897 - 924.
11. Kim, Y.-S. Determination of Zinc and Lead in water samples by solvent sublation using ion pairing of metal-naphthoate complexes and tetra-n-butylammonium ion [Текст] / Y.-S.Kim, Y.-S.Choi, W.Lee, Y.-I. Lee // Bull. Korean Chem. Soc. - 2001. - 22, N 8. - P. 821 - 826.
12. Kim, Y.-S. Studies on solvent extraction and flotation technique using metal-dithizone Complexes (II). Determination of trace elements in water samples by solvent sublation [Текст] / Y.-S.Kim, Y.Choi, H.-S.Choi, // Ibid. - 1998. - 19, N 10. - P. 1036 - 1042.
13. Kim, Y.-S. Solvent sublation using 8-hydroxyquinoline as a ligand for determination of trace elements in water samples [Текст] / Y.-S.Kim, J.-H.Shin, Y. Choi // Microchemical Journal. - 2001. - 63, N 2-3. - P. 99 - 107.
14. Croot, P.L.Determination of Fe (II) and total iron in natural waters with 3-(2-pyridyl)-5,6-diphenyl-1,2,4-triazine (PDT) [Текст] / P.L.Croot, K.A.Hunter // Analytica Chimica Acta. - 2002. - 406, N 2. - P. 289 - 302.
15. Elhanan, J. Solvent sublation of iron (III) Chloride by Tri-n-Octylamine [Текст] / J.Elhanan, B.L. Karger // Analytical Chemistry. - 1969. - 41, N 4. - P. 671 - 674.
16. Kim, Y.-S. Solvent sublation of trace noble metals by formation of metal complexes with 2-mercaptobenzothiazole [Текст] / Y.-S.Kim, J.-H.Shin, Y.-S.Choi // Bull. Korean Chem. Soc. - 2001. - 22, N 1. - P. 19 - 24.
17. Kim, Y.-S. Extraction equilibria and solvent sublation for determination of ultra trace Bi (III), In (III), Tl (III) in water samples by ion-pairs of metal-2-naphthoate complexes and tetrabutylammonium ion [Текст] / Y.-S.Kim, Y.-S.Choi, W.Lee // Ibid. - 2002. - 23, N 10. - P. 1381 - 1388.
18. Lu, Y.-J. Mathematical model of solvent sublation of some surfactants [Текст] / Y.-J.Lu, X.-H. Zhu // Talanta. - 2002. - 57, N 5. - P. 891 - 898.
19. Pengyu, Bi The recent progress of solvent sublation / Bi Pengyu, Huiru Dong, Jun Dong. // J. of Chromatography. - 2009. - 20. - P. 3 - 10.
20. Обушенко, Т.І. Закономірності процесу флотоекстракції при очищенні стічних вод від іонів важких металів [Текст] / Т.І.Обушенко, І.М. Астрелін, Н.М.Толстопалова, М.Є. Молодченко // Наукові вісті НТУУ "КПІ". - 2009. - № 3. - С. 117 - 122.

В цій статті описується алгоритм розрахунку зведеного індексу сталого розвитку, який показує діяльність підприємств по всіх трьох індикаторах сталості: економічному, екологічному та соціальному

Ключові слова: сталий розвиток, оцінка сталості, зведений індекс, показники сталості

В этой статье описывается алгоритм расчета сведенного индекса устойчивого развития, который показывает деятельность предприятий по всем трем индикаторам устойчивости: экономическому, экологическому и социальному

Ключевые слова: устойчивое развитие, оценка устойчивости, сведенный индекс, показатели устойчивости

This paper presents a model for designing a composite sustainable development index that depicts performance of companies along all the three dimensions of sustainability-economic, environmental, and societal

Key words: sustainable development, sustainability assessment, composite index, Sustainability indicators

УДК 136.42+504+330.34

ПОРІВНЯННЯ ДІЯЛЬНОСТІ ПІДПРИЄМСТВ НА ЗАСАДАХ ЗВЕДЕНОГО ІНДЕКСУ ТА МЕТОДА АНАЛІЗУ ІЄРАРХІЇ

О.О. Климюк*

Контактний тел.: 093-253-31-08

E-mail: olgaklmk@gmail.ru

Ю.О. Безносик

Кандидат технічних наук, доцент*

Контактний тел.: 050-357-639

E-mail: yu_beznosyk@ukr.net

*Кафедра кібернетики хіміко-технологічних процесів
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»
пр. Перемоги, 37, Київ, Україна, 03056

1. Вступ

На сьогоднішній день існують різноманітні критерії оцінки сталого розвитку окремих підприємств.

Вони пропонують використовувати численні індекси сталості, які, як правило, вимірюються в різних одиницях. В той час коли важливо оцінювати сталість за допомогою певних показників, інколи буває важко

зробити порівняння серед підприємств на основі великої кількості виконавчих вимірювань.

Дана робота представляє модель проектування зведених індексів сталого розвитку, які описували б діяльність підприємств відповідно до трьох складових сталого розвитку – економічної, екологічної та соціальної. У роботі наведена процедура розрахунку індексів, яка дозволила б порівняння підприємств у визначеному секторі стосовно сталості виконуваної роботи і наведений приклад ефективності запропонованої моделі, в якому три компанії, певного сектору, порівняні відносно сталості їхньої діяльності. Мета цієї роботи полягає у тому, що запропонована модель, може виконуватися та застосовуватися не тільки для оцінки лише однієї окремої компанії, а також для оцінки та порівняння двох та більше підприємств.

2. Математична модель для обчислення зведеного індексу сталого розвитку

Запропонована модель зменшує кількість показників за рахунок їхнього об'єднання у зведений індекс сталого розвитку (*a composite sustainable development index*) - I_{CSD} . Основну ієрархію показників I_{CSD} зображено на рис. 1. Процедура розрахунку I_{CSD} поділяється на кілька частин: відбір показників, групування, оцінка показників, визначення вагомості, нормалізація показників та їхнє об'єднання у I_{CSD} .

Вибір та групування показників проводиться відповідно до найважливіших аспектів сталості (економічний $j=1$, екологічний $j=2$, соціальний $j=3$). Економічна група показників стосується впливу підприємства на економічне благополуччя зацікавлених у цьому сторін та на економічні системи місцевих, національних та глобальних рівнів. Вони охоплюють всі аспекти економічних взаємодій, включаючи традиційні міри, що застосовуються у фінансових бухгалтерських звітах. Екологічна група показників стосується існуючих природних систем, включаючи екосистему, землю, повітря та воду. Соціальна група показників відображає відношення підприємства до управління її власними працівниками, постачальниками, підрядниками та клієнтами, а також її вплив на суспільство в цілому. Для кожної групи j , розглядаються індикатори і позитивної роботи $I_{A,j}^+$ в перспективі розвитку (тобто індикатори, збільшення яких позитивно впливає на сталий розвиток). Індикатори негативної роботи $I_{A,j}^-$ також визначаються на даному етапі. Наприклад, зрозуміло, що збільшення викидів у атмосферу на одиницю виробництва має негативний вплив (показник типу «чим менше, тим краще»), в той час як збільшення поточного доходу – позитивний вплив на показники підприємства (показник типу «чим більше, тим краще»).

Вибір та групування показників проводиться відповідно до найважливіших аспектів сталості (економічний $j=1$, екологічний $j=2$, соціальний $j=3$). Економічна група показників стосується впливу підприємства на економічне благополуччя зацікавлених у цьому сторін та на економічні системи місцевих, національних та глобальних рівнів. Вони охоплюють всі аспекти економічних взаємодій, включаючи традиційні міри, що застосовуються у фінансових бухгалтерських звітах. Екологічна група показників стосується існуючих

природних систем, включаючи екосистему, землю, повітря та воду. Соціальна група показників відображає відношення підприємства до управління її власними працівниками, постачальниками, підрядниками та клієнтами, а також її вплив на суспільство в цілому. Для кожної групи j , розглядаються індикатори і позитивної роботи $I_{A,j}^+$ в перспективі розвитку (тобто індикатори, збільшення яких позитивно впливає на сталий розвиток). Індикатори негативної роботи $I_{A,j}^-$ також визначаються на даному етапі. Наприклад, зрозуміло, що збільшення викидів у атмосферу на одиницю виробництва має негативний вплив (показник типу «чим менше, тим краще»), в той час як збільшення поточного доходу – позитивний вплив на показники підприємства (показник типу «чим більше, тим краще»).

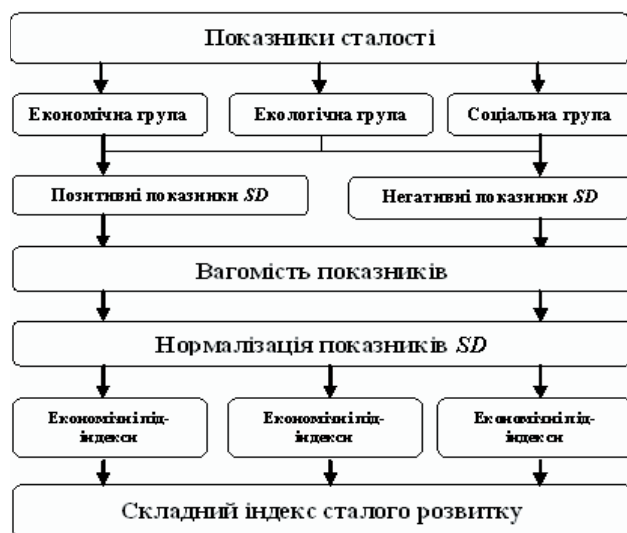


Рис. 1. Схема розрахунку зведеного індексу сталого розвитку

3. Розрахунок зведеного індексу сталого розвитку

Для розрахунку сталості, існує певна кількість показників, які використовуються, щоб оцінити просування підприємства до сталого розвитку. Індивідуальну важливість цих показників дуже важко визначити з достатньою точністю. Щоб оцінити значення показників, спеціалісти часто стикаються із нестачею даних. Тому, попарна техніка порівнювання використовується в наступній процедурній частині обчислення I_{CSD} , щоб отримати практично відносні значення кожного показника.

Попарна техніка порівняння, заснована на Методі Аналізу Ієрархії (MAI) [1]. Будемо вважати, що показники N сталого розвитку, розглядають з метою визначення кількості відносних значень кожного показника відносно усіх інших показників групи j . Це виконується за рахунок порівняння кожної пари показників. Внаслідок впливає питання, який з двох показників i та k є важливішим відносно сталого розвитку компанії. Інтенсивність переваги виражена в масштабі фактора від 1 до 9. Оцінка 1 вказує на рівність між двома показниками, в той час як 9 вказує на те, що один з показників у 9 разів важливіший того, з яким порівнюється. Таке попарне порівняння дає додатну

матрицю $A (N \times N)$ де діагональ $a_{ik}=1$ та протилежна властивість $a_{ki}=(1/a_{ik})$, $i, k=1, \dots, n$. Припускають, якщо показник i у p -разів важливіший показника k , тоді, відповідно, показник k у $1/p$ -разів важливіший показника i . Швидкий шлях знайти нормалізоване значення кожного показника це нормалізація кожної колонки матриці A (розділяючи відносні значення показників на суми відносних значень у колонках), а потім виводимо середнє значення по рядках; ця середня колонка є нормалізованим значенням вектору W , що містить значення (W_{ij}) обраного показника сталості.

Головна складність поєднання індикаторів у I_{CSD} полягає у тому, що індикатори можуть бути виражені в різних одиницях. Відповідна процедура нормалізації може використовувати систему рівнянь (1-2):

$$I_{N,jt}^+ = \frac{I_{A,jt}^+ - I_{\min,jt}^+}{I_{\max,jt}^+ - I_{\min,jt}^+} \quad (1)$$

$$I_{N,jt}^- = 1 - \frac{I_{A,jt}^- - I_{\min,jt}^-}{I_{\max,jt}^- - I_{\min,jt}^-} \quad (2)$$

де $I_{N,jt}^+$ є нормалізованим індикатором і типу «чим більше, тим краще» для групи індикаторів j для часу t та $I_{N,jt}^-$ є нормалізованим індикатором і типу «чим менше, тим краще» для групи індикаторів j для того ж часу t .

Таким чином, можна об'єднувати величини різних запропонованих типів, з різними одиницями вимірювання (тобто фізичні, економічні і т.д.). Однією перевагою запропонованої нормалізації показників – сумісність різних показників, так як всі показники нормалізовані.

Розрахунок I_{CSD} – це поступова процедура групування різних основних індексів в під-індекс стійкості ($I_{S,j}$) для кожної групи індикаторів стійкості j . Під-індекси можуть бути отримані як показано в рівнянні (3)

$$I_{S,jt} = \sum_{jt} W_{jt} I_{N,jt}^+ + \sum_{jt} W_{jt} I_{N,jt}^- \quad (3)$$

$$I_{S,jt} = \sum_{jt} W_{jt} I_{N,jt}^+ + \sum_{jt} W_{jt} I_{N,jt}^-$$

де I_S є під-індексом сталості для групи показників j для часу t ; W_{ji} вагомість показників i для групи показників сталості j та відображає важливість цього показника в оцінці компанії.

Зрештою, усі під-індекси об'єднуються у складний індекс сталого розвитку I_{CSD} :

$$I_{CSD,t} = \sum_{jt} W_j \times I_{S,jt} \quad (4)$$

де W_j позначає фактор, що представляє апіорне значення показників сталого розвитку групи j .

Ці значення повинні відображати пріоритети на думку осіб, приймаючих рішення. В заключному обчисленні I_{CSD} можна розглянути підхід, який використовує запропоновані значення.

Ці значення відображають важливість економічних, екологічних та соціальних результатів діяльності компанії.

4. Порівняння підприємств на основі зведеного індексу

Розглядаючи доступність надійних даних, ми обирали три підприємства, які займаються переробкою твердих побутових відходів (Україна, м. Київ «Енергія»; Франція, м. Тулуза «Гранд»; Франція, м. Ле Ман «Метрополь») щоб оцінити і порівняти їхню діяльність. Щоб дослідити успішність сталості, запропонована модель була застосована до даних підприємств та I_{CSD} з його під-індексами був представлений за період 2007-2010 років. Вихідні дані, використані в роботі, були отримані із щорічних звітів. Вони включають перехресні таблиці, які дозволяють користувачам ясно зрозуміти рівень звітності. Обрані підприємства були оцінені і порівняні відповідно до сталості, використовуючи економічні, екологічні та соціальні під-індекси, які були складені з багатьох окремих показників. Мета полягала в тому, щоб визначити в якій компанії, була краща робота у відібраних роках 2007-2010 з точки зору сталого розвитку.

Для трьох підприємств, які досліджувалися з точки зору сталого розвитку, було відібрано ряд показників сталості. Для кожного показника було присвоєно свій символ та одиницю вимірювання. Економічні показники підприємств: Грошовий потік; Частка витрат на розвиток та дослідження; Вартість досліджень; Вартість екологічних штрафів та штрафів безпеки. Екологічні показники підприємств: Оксид вуглеводню; Оксид азоту; Діоксид сірки; Тверді частинки; Бензол; Толуол. Соціальні показники підприємств: Частка соціальних інвестицій у валовому прибутку; Частка нещасних випадків на одного працівника; Частота травм працівників та підрядників (табл. 1-3).

Таблиця 1

Економічні показники підприємств з 2007 по 2010 рік

Показники	Символ	Одиниця вимірювання	м. Київ «Енергія»				м. Тулуза «Гранд»				м. Ле Ман «Метрополь»			
			2007	2008	2009	2010	2007	2008	2009	2010	2007	2008	2009	2010
Грошовий потік	C_A	тис у.о./рік	24	31	29	42	85	92	108	115	75	69	81	88
Частка витрат на розвиток та дослідження	$f_{R\&D}$	%	1,5	1,1	0,85	0,7	8	10	10,5	12	6	4,7	5	7
Вартість досліджень	C_{expl}	тис у.о./рік	0,36	0,34	0,25	0,29	6,80	9,20	11,34	13,80	4,50	3,24	4,05	6,16
Вартість екологічних штрафів та штрафів безпеки	$C_{env, fines}$	тис у.о./рік	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	3,0	2,5	3,0	1,0	1,0	1,0	2,1

Таблиця 2

Екологічні показники підприємств з 2007 по 2010 рік

Показники	Символ	Одиниця вимірювання	м. Київ «Енергія»				м. Тулуза «Гранд»				м. Ле Ман «Метрополь»			
			2007	2008	2009	2010	2007	2008	2009	2010	2007	2008	2009	2010
Оксид вуглеводню (CO ₂)	ξCO ₂	г/м ³	0,5	1,1	2,5	1,9	0,2	0,1	0,1	0,18	0,35	1,09	0,89	0,1
Оксид азоту (NO ₂)	ξNO ₂	г/м ³	0,14	0,14	0,16	0,15	0,07	0,05	0,05	0,07	0,105	0,06	0,06	0,05
Діоксид сірки (SO ₂)	ξSO ₂	г/м ³	0,018	0,04	0,095	0,03	0,01	0,01	0,01	0,02	0,014	0,075	0,04	0,01
Бензол (C ₆ H ₆)	ξC ₆ H ₆	г/м ³	1,32	1,8	3	1,9	0,7	0,5	0,5	0,6	1,01	1,75	1,55	0,5
Толуол (C ₆ H ₅ -CH ₃)	ξC ₆ H ₅ -CH ₃	г/м ³	1,86	3,21	6	3,9	1,1	0,8	0,8	0,7	1,48	2,22	2,02	0,8
Ацетон (C ₃ H ₆ O)	ξC ₃ H ₆ O	г/м ³	0,7	0,6	0,8	0,6	0,3	0,1	0,1	0,1	0,5	1,24	1,04	0,1
Тверді частинки	ξгч	г/м ³	0	0	0,056	0,01	0	0	0	0	0	0	0,03	0
Компоненти із вмістом хлору (CHI)	ξCHI	г/м ³	0,385	0,436	0,648	0,391	0,1	0,1	0,1	0,1	0,243	0,134	0,1	0,1
Компоненти із вмістом фтору (HF)	ξHF	г/м ³	0,004	0,004	0,005	0,003	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001

Таблиця 3

Соціальні показники підприємств з 2007 по 2010 рік

Показники	Символ	Одиниця вимірювання	м. Київ «Енергія»				м. Тулуза «Гранд»				м. Ле Ман «Метрополь»			
			2007	2008	2009	2010	2007	2008	2009	2010	2007	2008	2009	2010
Частка соціальних інвестицій у валовому прибутку	f _{soc and com}	%	0,28	0,32	0,34	0,3	2,1	1,9	2,3	2,5	1,3	1,1	0,7	1,3
Частка нещасних випадків на одного працівника	X _{fatalities}	%	5,56	3,3	6,9	4,2	6,33	4,54	2,6	4,82	4,8	2,1	3,8	3,2
Частота травм працівників та підрядників	M _{injury}	чол/5 років	1,0	1,0	1,0	1,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	2,0	2,0

Табл. 1-3 перераховують виконавчі показники підприємств, час їх дослідження. Обчислювання становить 1 календарний рік. Для кожного показника було присвоєно свій символ та одиницю вимірювання. Виконавчі показники сталості були згруповані в три секції, охоплюючи економічний (4 показника), екологічний (9 показників), та соціальний (3 показники) виміри сталості. Це групування було засноване на звичайній моделі сталого розвитку [1].

На стадії оцінки, показники позитивної/негативної роботи у перспективі сталості (тобто показники, збільшення яких має позитивний/негативний вплив на сталий розвиток компанії) були розглянуті для кожної групи, як показано в табл. 4.

Щоб визначити вагомість відібраних показників було виконане попарне порівняння показників згідно їхнього впливу на сталість підприємств групою експертів. Кожного члена групи попросили оцінити важливість фактору одного показника над іншим відповідно до шкали оцінювання від 1 до 9. Оцінка 1 означала рівність між двома показниками, в той час як, наприклад, оцінка 7, означало перевагу одного показ-

ника над іншим, з яким він порівнювався. Базуючись на попарному порівнянні, були розраховані середні значення факторів.

Таблиця 4

Оцінка показників відповідно ознакам позитивної та негативної діяльності підприємств

Групи показників сталості	Показники позитивної діяльності, I _{N,jit} ⁺	Показники негативної діяльності, I _{N,jit} ⁻
Економічна	C _{A, fR&D}	C _{expl, env fines}
Екологічна	/	ξCO ₂ , ξNO ₂ , ξSO ₂ , ξC ₆ H ₆ , ξC ₆ H ₅ -CH ₃ , ξC ₃ H ₆ O, ξгч, ξCHI, ξHF
Соціальна	f _{soc and com}	X _{fatalities} , M _{injury}

Наступний крок оцінки сталості є нормалізація використання показників, як показує рівняння (1) та (2). Таким чином показники стають безрозмірними та набувають значення між 0 та 1. Нормалізовані

результати представлені у табл. 5-7 для економічної, екологічної та соціальної групи показників, відповідно. Із відносних значень показників ясно, що деякі показники оцінені значно нижче ніж інші. У економічній групі показників, показник грошового потоку був обраний найважливішим, в той час як показник вартості екологічних штрафів та штрафів безпеки був визнаний найменш привілейованим (табл. 5). У екологічній групі (табл. 6), було розраховано та обраним найважливішим показник викидів у атмосферу оксид вуглеводню (CO_2), йому слідує по-

казник оксид азоту (NO_2), далі викиди SO_2 та C_6H_6 . Як найменш важливий визнали показники викидів компонентів із вмістом хлору (CHI) та компоненти із вмістом фтору (HF). У соціальній групі, як найважливіший показник було розрахований показник рекордної частоти тілесних ушкоджень на одного працівника, в той час як показник фракції соціальних та громадських інвестицій досягає найнижчого значення (табл. 7).

Розраховуючи під індекси сталості у часі t (року) для економічної, екологічної та соціальної групи по-

Таблиця 5

Нормалізовані значення економічних показників компанії

Показники	Символ	Вагомість	м. Київ «Енергія»				м. Тулуза «Гранд»				м. Ле Ман «Метрополь»			
			2007	2008	2009	2010	2007	2008	2009	2010	2007	2008	2009	2010
Грошовий потік	CA	0,57	0,00	0,08	0,05	0,20	0,67	0,75	0,92	1,00	0,56	0,49	0,63	0,70
Частка витрат на розвиток та дослідження	$f_{R\&D}$	0,22	0,08	0,04	0,02	0,00	0,74	0,95	1,00	1,15	0,54	0,41	0,44	0,64
Вартість досліджень	c_{expl}	0,13	0,99	0,99	1,00	1,00	0,52	0,34	0,18	0,00	0,69	0,78	0,72	0,56
Вартість екологічних штрафів та штрафів безпеки	$c_{env\ fines}$	0,08	0,95	1,00	1,00	1,00	0,97	0,00	0,17	0,00	0,69	0,69	0,69	0,31

Таблиця 6

Нормалізовані значення екологічних показників компанії

Показники	Символ	Вагомість	м. Київ «Енергія»				м. Тулуза «Гранд»				м. Ле Ман «Метрополь»			
			2007	2008	2009	2010	2007	2008	2009	2010	2007	2008	2009	2010
Оксид вуглеводню (CO_2)	ξ_{CO_2}	0,296	0,83	0,58	0,00	0,25	0,96	1,00	1,00	0,97	0,90	0,59	0,67	1,00
Оксид азоту (NO_2)	ξ_{NO_2}	0,186	0,18	0,18	0,00	0,09	0,82	1,00	1,00	0,82	0,50	0,91	0,91	1,00
Діоксид сірки (SO_2)	ξ_{SO_2}	0,160	0,91	0,65	0,00	0,76	1,00	1,00	1,00	0,88	0,95	0,24	0,65	1,00
Бензол (C_6H_6)	$\xi_{\text{C}_6\text{H}_6}$	0,121	0,67	0,48	0,00	0,44	0,92	1,00	1,00	0,98	0,80	0,50	0,58	1,00
Толуол ($\text{C}_6\text{H}_5\text{-CH}_3$)	$\xi_{\text{C}_6\text{H}_5\text{-CH}_3}$	0,077	0,78	0,53	0,00	0,40	0,92	0,98	0,98	1,00	0,85	0,71	0,75	0,98
Ацетон ($\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$)	$\xi_{\text{C}_3\text{H}_6\text{O}}$	0,059	0,47	0,56	0,39	0,56	0,82	1,00	1,00	1,00	0,65	0,00	0,18	1,00
Тверді частинки	$\xi_{\text{TЧ}}$	0,048	1,00	1,00	0,00	0,82	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,46	1,00
Компоненти із вмістом хлору (CHI)	ξ_{CHI}	0,031	0,48	0,39	0,00	0,47	1,00	1,00	1,00	1,00	0,74	0,94	1,00	1,00
Компоненти із вмістом фтору (HF)	ξ_{HF}	0,021	0,33	0,23	0,00	0,28	1,00	1,00	1,00	1,00	0,66	1,00	1,00	1,00

Таблиця 7

Нормалізовані значення соціальних показників компанії

Показники	Символ	Вагомість	м. Київ «Енергія»				м. Тулуза «Гранд»				м. Ле Ман «Метрополь»			
			2007	2008	2009	2010	2007	2008	2009	2010	2007	2008	2009	2010
Частка соціальних інвестицій у валовому прибутку	$f_{\text{soc and com}}$	0,67	0,00	0,02	0,03	0,01	0,82	0,73	0,91	1,00	0,46	0,37	0,19	0,46
Частка нещасних випадків на одного працівника	$X_{\text{fatalities}}$	0,24	0,28	0,75	0,00	0,56	0,12	0,49	0,90	0,43	0,44	1,00	0,65	0,77
Частота травм працівників та підрядників	M_{injury}	0,09	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,50	0,50	0,50

казників, нормалізоване значення кожного з показників було помножене на його розраховану вагомість використовуючи рівняння (3).

Останній крок моделювання представляє об'єднання отриманих під-індексів сталості в складний індекс сталого розвитку I_{CSD} для кожного проміжку часу (року) t використовуючи рівняння 4. В заключному обчисленні I_{CSD} , кожний під-індекс сталості був перемножений з його вагомістю, яка відображає його важливість у економічній, екологічній та соціальній групі показників сталого розвитку підприємства. Вагомість, характерна кожному під-індексу, має також розраховану експертну оцінку, використовуючи попарне порівняння під-індексів у МАІ. Результати в табл. 8 вказують на найважливіший екологічний під-індекс, якому слідують економічні та соціальні під-індекси.

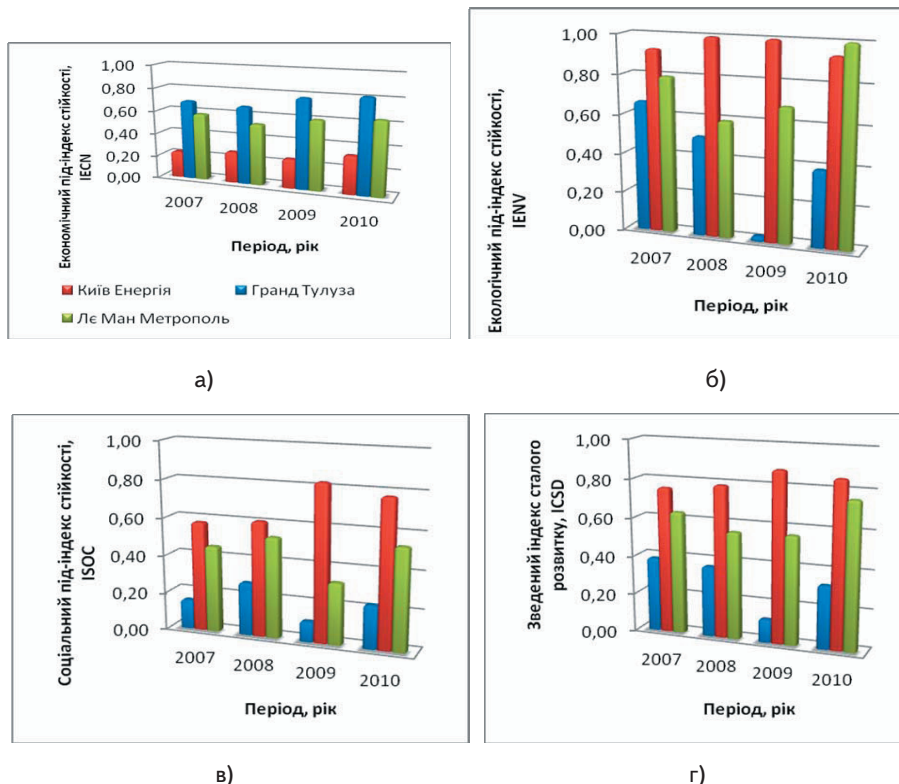


Рис. 2. Зміна під-індексів сталості та складного індексу сталого розвитку в період часу 2007-2010 років

Таблиця 8

Матриця попарного порівняння оцінки та розрахунку вагомості під індексів сталості

Під-індекси	I_{ECN}	I_{ENV}	I_{SOC}	
Економічний під індекс, I_{ECN}	1	$\frac{1}{2}$	2	
Екологічний під індекс, I_{ENV}	2	1	1	
Соціальний під індекс, I_{SOC}	$\frac{1}{2}$	1	1	
Σ	3,5	2,5	4,0	Ваго- мість
Економічний під індекс, I_{ECN}	0,286	0,20	0,50	0,329
Екологічний під індекс, I_{ENV}	0,571	0,40	0,25	0,407
Соціальний під індекс, I_{SOC}	0,143	0,40	0,25	0,264

Чотири економічних, дев'ять екологічних та три соціальних показників були об'єднані в під-індекси сталості обраних підприємств і нарешті в складний індекс сталого розвитку, як представлено в табл. 9.

Зміна під-індексів сталості в інтервалі часу 2007-2010 років представлено графічно на рис. 2.

I_{CSD} та усі під-індекси показують діяльність підприємства в одному році у порівнянні з іншими роками та іншими підприємствами відповідно. Відносно високий I_{CSD} може бути як міра відносної ймовірності того, що підприємство буде здатним досягти та витримати сприятливих життєздатних умов протягом кількох років у майбутньому. За результатами досліджень, очевидно, що I_{CSD} різний для підприємств, оцінених у вибраний період часу. Порівнюючи вибрані підприємства, бачимо, що I_{CSD} показує кращі результати для підприємства м. Тулузи.

Важлива особливість I_{CSD} – можливість порівняння підприємств у визначеному секторі з точки зору сталого розвитку. Тому, I_{CSD} можливо використовувати в якості критеріїв, за якими підприємства можуть бути оцінені згідно їх сталої діяльності. Цей індекс, може підтримувати інвесторів, при вкладенні капіталу в розвиток підприємства.

Зведений показний сталості може бути візуалізований у вигляді пелюсткових діаграм. Таку діаграму

зручно використовувати для кількісного та графічного опису зведеного показника сталості. Щоб порівняти сталість діяльності усіх трьох підприємств, нормалізовані значення усіх показників були візуалізовані, як показано на рис. 3а – 3г. Для кожного показника, відстань від центру кола до точки на лінії, була визначена як його нормалізоване значення. З'єднавши ці точки був нарешті отриманий показник. Для кращої наочності та зручності порівняння,

Таблиця 9

I_{CSD} та під-індекси сталості для економічної (I_{ECN}), екологічної (I_{ENV}) та соціальної (I_{SOC}) групи показників

	м. Київ «Енергія»				м. Тулуза «Гранд»				м. Ле Ман «Метрополь»			
П-ін	2007	2008	2009	2010	2007	2008	2009	2010	2007	2008	2009	2010
I_{ECN}	0,23	0,27	0,25	0,33	0,69	0,67	0,78	0,82	0,58	0,53	0,60	0,64
I_{ENV}	0,67	0,51	0,02	0,39	0,93	1,00	1,00	0,94	0,80	0,59	0,68	1,00
I_{SOC}	0,15	0,28	0,11	0,23	0,58	0,61	0,83	0,78	0,46	0,53	0,33	0,54
I_{CSD}	0,39	0,37	0,12	0,33	0,76	0,79	0,88	0,85	0,64	0,56	0,56	0,76

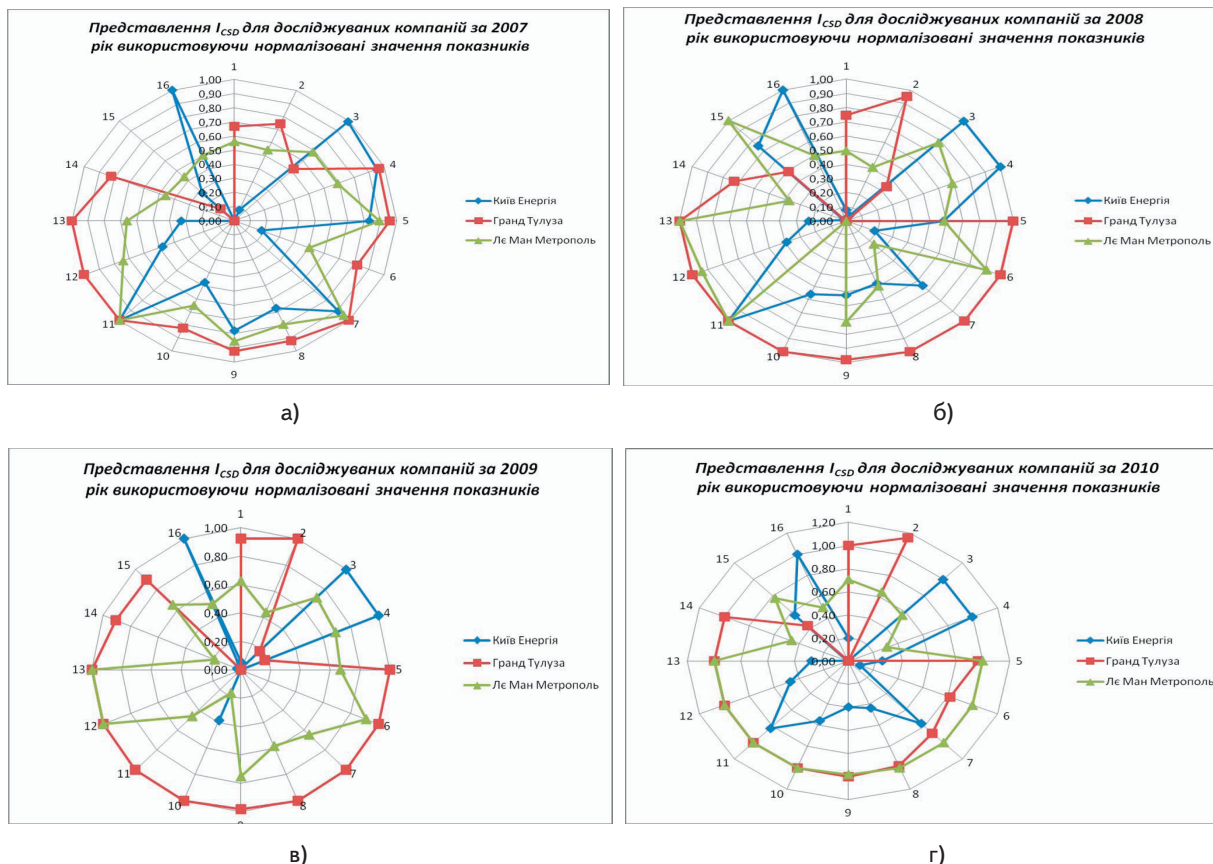


Рис. 3. Представлення I_{CSD} для досліджуваних компаній, використовуючи нормалізовані значення показників за: а) - 2007 рік; б) - 2008 рік; в) - 2009 рік; г) - 2010 рік

було побудовано чотири пелюсткові діаграми для кожного досліджуваного року діяльності підприємств.

Чим більша площа пелюсткової діаграми, тим більш сталим є підприємство і навпаки. Вірогідність сталого розвитку стає більшою із наближенням значення нормалізованого показника до точки 1. Криві виражають кількісні невідповідності між трьома підприємствами порівняльного аналізу. За такими порівняннями кривих для усіх підприємств, особи, приймаючи рішення, отримують інформацію про аспекти сталого розвитку, до яких прямують підприємства, а до яких – ні.

5. Висновки

Розрахунок складного індексу сталого розвитку, який відображає результат діяльності компанії за трьома аспектами сталості: економічний, екологічний та соціальний дає змогу порівнювати діяльність різних підприємств особи, приймаючи рішення. Складний індекс може використовуватися в якості критеріїв, за якими підприємства можуть бути ідентифіковані та оцінені згідно їх сталої діяльності.

Література

1. Згуровский М.З. Основы устойчивого развития общества [Текст] / М.З.Згуровский, Г.А. Статюха – К.: НТУУ «КПИ», 2010. – ч.1. – 464 с.
2. Krajnc D. How to compare companies on relevant dimensions of sustainability [Text] / D. Krajnc, P. Glavic // J. Ecological Economics. – 2005. – N 55. – p. 551 – 563.
3. Krajnc D. A model for integrated assessment of sustainable development [Text] / D. Krajnc, P. Glavic // J. Resources, Conservation and Recycling. – 2005. – N 43. – p. 189–208.
4. Згуровський, М.З. Основы системного аналізу [Текст]/ М.З. Згуровський, Н.Д. Панкратова. – К.: Вид. група ВНУ, 2007. – 544 с.
5. Статюха Г.А. Сравнение устойчивого развития различных предприятий на основе сводного показателя с использованием анализа иерархий [Текст] / Г.А. Статюха, Ю.А. Безносик, Л.Н. Бугаева – XI международная конференция «Интеллектуальный анализ информации ИАИ-2011». Сб. трудов – Киев, Просвіта, 2011. – с. 77 – 85.
6. Безносик, Ю.А. Сравнение деятельности предприятий по индикаторам устойчивого развития [Текст] / Ю.А. Безносик, Л.Н. Бугаева, М.С. Михалева, А.Н. Катренчик // Сб. трудов XXVI межд. науч. конф. «Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-24», Киев: в 10 т. Т. 4. Секция 4 / [под общ. ред. В.С. Балакирева]. – Киев: НТУУ «КПИ», 2011. – С. 7–9.